IMP. ARTRA



AVEC LES COMPLIMENTS DE LA

COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ELECTRO-CÉRAMIQUE

SIÈGE SOCIAL
ET
SERVICE COMMERCIAL

12, RUE DE LA BAUME
PARIS-8E

USINE, SERVICES TECHNIQUES
ET LABORATOIRE A BAZET
(HAUTES-PYRÉNÉES)

USINE A ANDANCETTE
(DROME)

Equipment - Testing

LABORATOIRE A TRÈS HAUTE TENSION

5,5 millions de volts

(TENSION DE CHOC)

COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRO-CÉRAMIQUE

12, RUE DE LA BAUME, PARIS (8e)



Vue extérieure de bâtiment

UN laboratoire à très haute tension est le moyen de contrôle et de recherche indispensable à une firme dont l'activité principale est la production d'isolateurs pour toutes les installations de transport d'énergie. Désireuse d'apporter sa contribution à la solution de tous les problèmes posés par l'emploi de tensions de plus en plus élevées, la C.G.E.C. vient d'accroître ses moyens de contrôle et de recherche en créant un nouveau laboratoire à très haute tension dont l'équipement actuel comporte essentiellement un générateur de choc pouvant produire 5,5 *millions de volts, un deuxième générateur de choc, moins puissant, de* 1 *million de volts et des transformateurs provisoires pour tensions à fréquence industrielle jusqu'à* 500 000 *volts.*

Il est prévu de remplacer ces derniers ultérieurement par un transformateur beaucoup plus puissant, donnant une tension suffisante pour essayer du matériel 380 *kV. Les dimensions du bâtiment permettent l'installation d'un transformateur monobloc, capable de fournir une tension de* 2 *millions de volts.*

Pour comprendre la nécessité de ces moyens de contrôle et de recherche, il suffit de rappeler que des lignes à 380 000 *volts existent déjà et que d'autres sont à l'étude ; il n'est pas impossible que des tensions encore plus élevées soient utilisées ultérieurement. Or, si l'on considère par exemple une chaîne d'alignement pour ligne à* 380 000 *volts, elle devra comporter d'après l'expérience acquise environ* 23 *éléments capot et tige à pas de* 146 *mm.*

Il en résulte une longueur de chaîne de 3 *m* 36 *environ. Sur une telle chaîne, le contournement par l'arc à sec en fréquence industrielle se produira pour environ* 1 200 *kV efficaces, soit* 1 700 *kV de crête. L'essai à* 50 *périodes nécessitera donc un transformateur capable d'une tension comprise entre* 1 *et* 2 *millions de volts.*

Evaluons d'autre part la tension de choc permettant l'essai de contournement au choc : s'il s'agit d'une onde 1/50, en tenant compte du coefficient d'impulsion et du rendement correspondant, on prévoit une tension de choc de :

$\frac{1\,700 \times 1{,}2}{0{,}9} = 2\,270$ *kV aux bornes du générateur ; dans le cas d'une onde 1/5, le coefficient d'impulsion plus élevé et le rendement plus faible conduisent à une tension de choc de :*

$$\frac{1\,700 \times 1{,}45}{0{,}7} = \textbf{3.520 kV}$$

Tels sont les ordres de grandeur qui apparaissent pour un simple essai de contournement sur des chaînes prévues pour 380 kV ; compte tenu d'une certaine marge pour l'avenir, la valeur maximum adoptée de 5,5 millions de volts au choc nous semble donc parfaitement justifiée tant pour le contrôle que pour les recherches.

LE BATIMENT

Les dimensions du laboratoire se déduisent aisément des tensions maxima prévues : il faut en effet ménager autour du point à 5,5 millions de volts un espace libre correspondant approximativement à une sphère de 10 m 50 de rayon : la hauteur et la largeur du laboratoire doivent donc être supérieures à 21 mètres; en fait, en tenant compte de l'encombrement des appareils, la hauteur sous ferme a été fixée à 26 m et la largeur libre à 24 m 50.

La longueur du laboratoire est imposée par la présence simultanée du générateur de choc et d'un transformateur pour un maximum de 2 millions de volts, celui-ci devant avoir son sommet au centre d'une sphère libre de 9 m de rayon. En ajoutant les diamètres des deux sphères de sécurité, on obtient 21 + 18 = 39 m en fait, il a fallu adopter une longueur libre de 51 m, car l'espace de sécurité du générateur de choc doit être augmenté dans le sens de la longueur, pour tenir compte de la présence du potentiomètre capacitif et de l'objet à essayer.

Sur les figures 1 et 2, on a représenté schématiquement le bâtiment et ses principaux équipements, vus en coupe longitudinale et transversale. Sur ces figures, on a représenté les transformateurs provisoires, mais l'espace disponible permet la mise en place d'un futur transformateur à 2 millions de volts.

La construction de ce grand bâtiment souleva quelques problèmes, du fait de la présence d'eau à 1 m de profondeur. Il était nécessaire de prévoir une construction relativement légère, ce qui nous fit préférer une charpente métallique au béton armé; les fondations sont des massifs reposant à 2 m 50 de profondeur et soutenant les piliers de la charpente. Les murs sont constitués de plaques de béton non armé doublés d'isorel. Pour le toit, on a utilisé des plaques nervurées en aciéroïd, composition spéciale à faible densité.

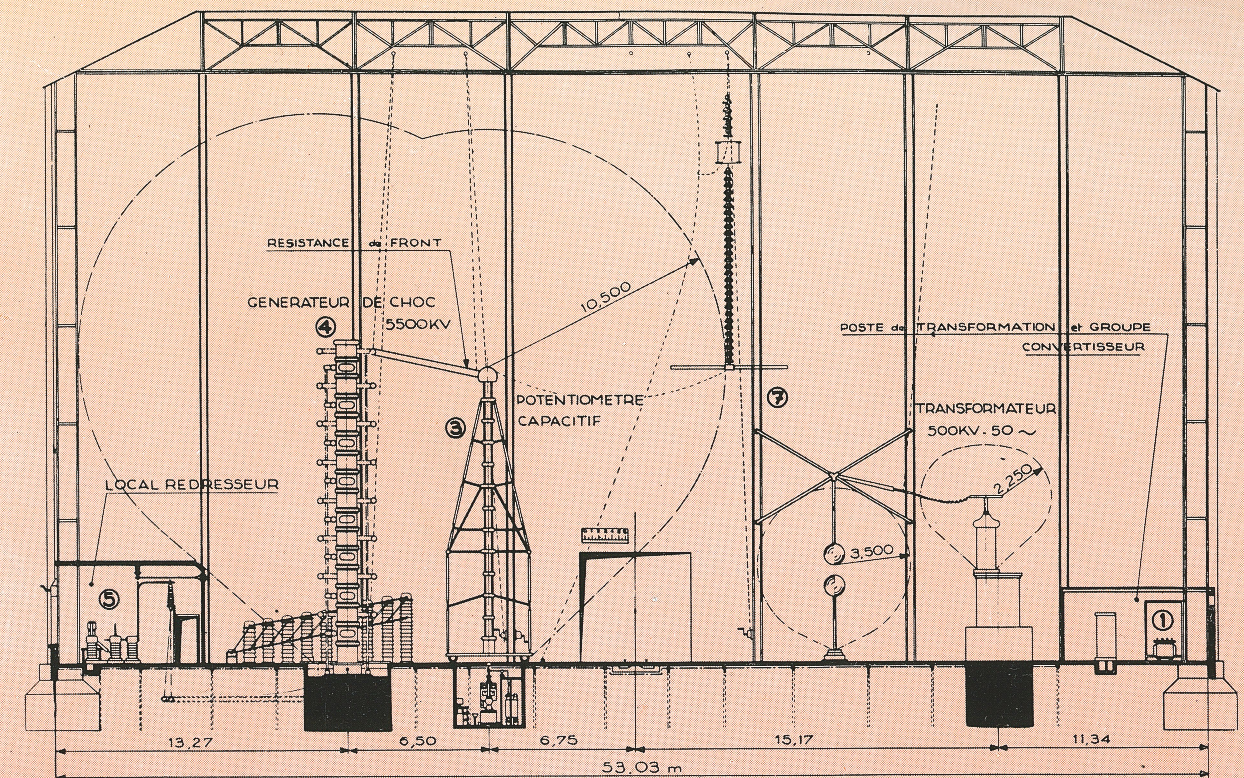


Fig. 1 – Coupe schématique longitudinale du bâtiment.

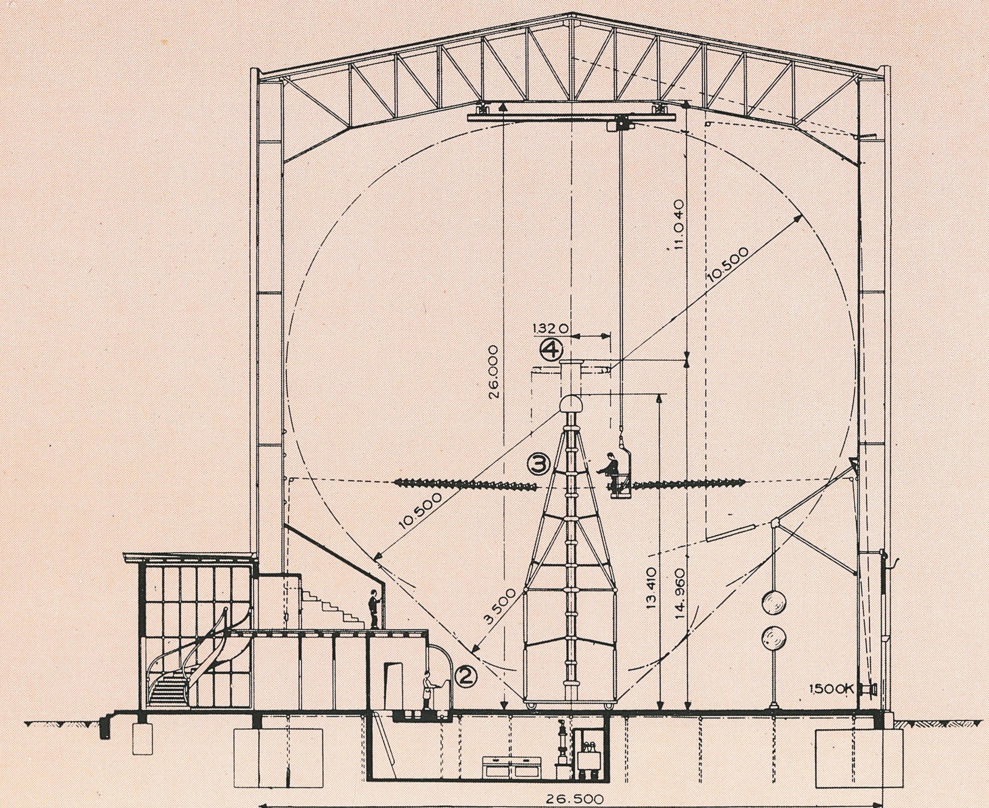


Fig. 2 – Coupe schématique transversale du bâtiment.

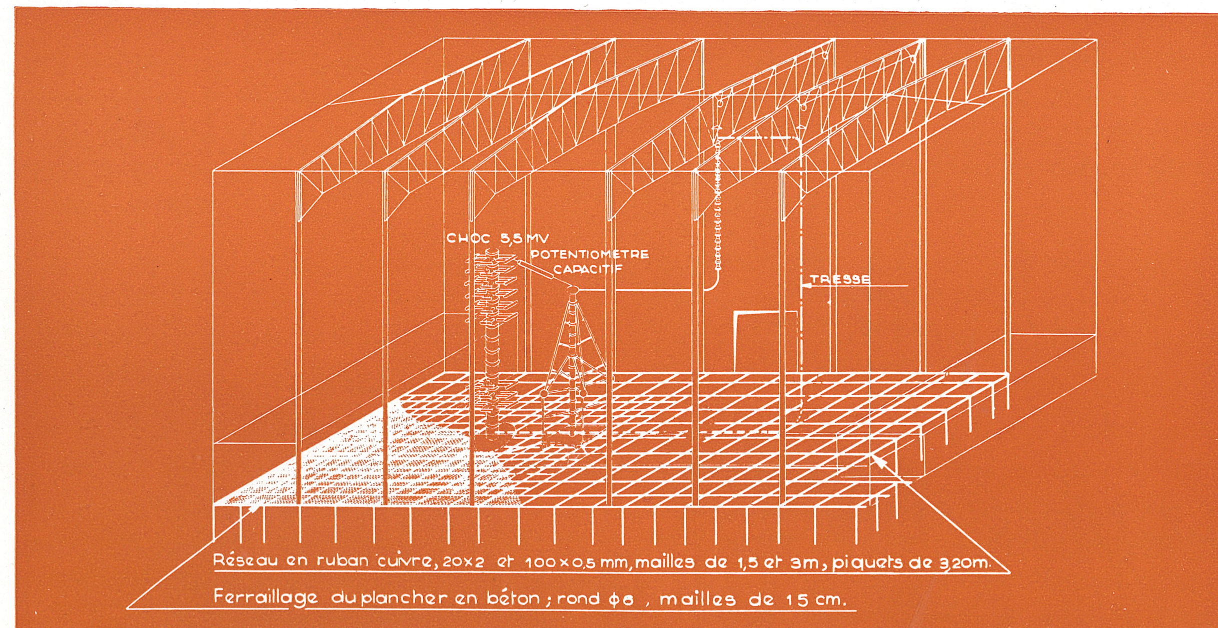
Il convient d'attirer l'attention sur le réseau de terre. Ce réseau a un double but : fermer la cage de Faraday constituée par la charpente métallique et assurer une terre aussi bonne que possible. La fermeture de la cage de Faraday est une nécessité pour supprimer les perturbations à l'extérieur pendant les essais, mais de plus la qualité de la terre est une condition très importante de sécurité. Il faut en effet prévoir le passage d'intensités pouvant atteindre 20 000 A pendant quelques micro-secondes dans les connexions de terre ; c'est dire que toute imperfection dans ces connexions ferait apparaître des tensions dangereuses entre des points non prévisibles sur la charpente ou sur le sol. Un tapis de terre très perfectionné comportant un réseau de 1 700 mètres de ruban de cuivre mis en relation avec l'armature du plancher en béton et avec 86 pieux pénétrant à 3 m 20 dans le sol, constitue une terre dont la résistance est inférieure à 1 ohm. Bien entendu, ce tapis de terre est relié en de nombreux points à la charpente du bâtiment.

Deux fosses, visibles sur les figures 1 et 2, ont été aménagées, l'une, de faible profondeur, sous le générateur de choc, l'autre, plus profonde, sous le potentiomètre capacitif et destinée à loger l'oscillographe à cathode froide. Celui-ci, relié au potentiomètre par des connexions très courtes, se trouve donc au-dessous du tapis de terre, ce qui crée, du fait d'un blindage parfait, des conditions d'enregistrement spécialement favorables lors des essais avec onde à front très raide.

La figure 3 fait apparaître schématiquement la structure du bâtiment et du réseau de terre.

La place disponible en dehors des zones dangereuses a été utilisée le mieux possible en y aménageant des locaux à usages divers : salle d'expositions et de conférences, magasin de matériel, bureaux, salles d'essais spéciaux, salle des postes d'alimentation, local du redresseur, etc. Sur la figure 4, une vue en plan du laboratoire indique la disposition des divers locaux.

Fig. 3 – Aspect schématique du bâtiment et du réseau de terre.



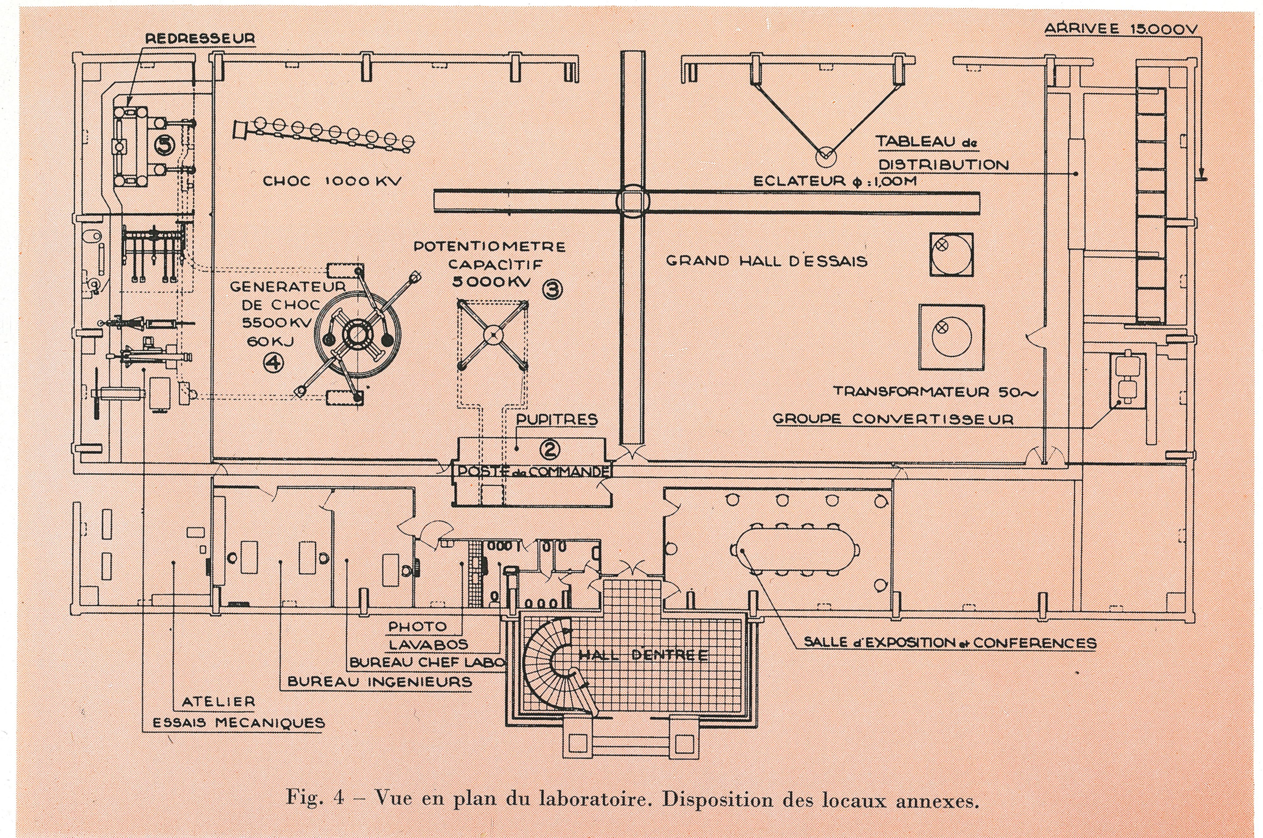


Fig. 4 – Vue en plan du laboratoire. Disposition des locaux annexes.

LE GÉNÉRATEUR DE CHOC A 5,5 MILLIONS DE VOLTS

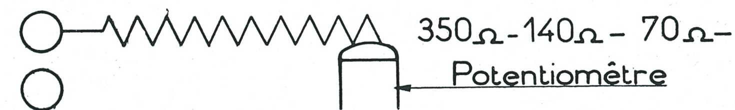
Une firme suisse, la Société HAEFELY, et une firme française, la SAVOISIENNE, ont mis en commun leur expérience pour la réalisation du générateur de choc, la C.G.E.C. ayant apporté sa contribution par la fabrication en porcelaine des enveloppes des condensateurs et des supports d'étage. Cette collaboration de compétences a permis certaines audaces techniques qui font de ce générateur une réalisation originale et actuellement unique au monde.

Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

tension maximum	5,5 MV
énergie accumulée à la tension maximum	60 kWs
capacité, tous les étages étant en série	4 000 pF
nombre d'étages	16
tension de charge par étage	344 000 volts
tension maximum positive ou négative par rapport à la terre à l'extrémité supérieure du générateur au moment de l'amorçage	5 500 000 volts
tension maximum pour l'onde 1/50 sur un isolateur de 10 pF	5 000 kV
isolateur de 100 pF	4 700 kV
isolateur de 2 000 pF	4 650 kV

possibilité d'obtenir des ondes à front très raide (0,7 μs à 5 000 kV).

Résistances de front interchangeables pour ajuster le front de l'onde



2 Condensateurs de 32 000 pF en parallèle soit 64 000 pF - Réalisation par 2 tubes 220 mm de ∅ et 2 m 56 de longueur, chaque tube contenant 44 éléments de condensateurs en série (1 408 μF par élément)

Sphères mobiles de 250 mm de ∅ montées sur colonnes de porcelaines tournantes. En tout 16 éclateurs de couplage

15 Résistances de front de 70 ohms

16 Résistances de queue dites "parallèles" et formées de 2 résistances en série de 555 ohms chacune pouvant être schuntées par 60 Ω pour le cas de l'onde 1/5

COUPLAGE : 1

Tout en série .... 4 000 pF 5 500 kV

COUPLAGE : 2

Série parallèle .... 16 000 pF

2 en parallèle et 8 en série 2 300 kV

COUPLAGE : 3

Tout en parallèle.... 1 024 000 pF 344 kV

15 Résistances de charge de 10 500 Ω

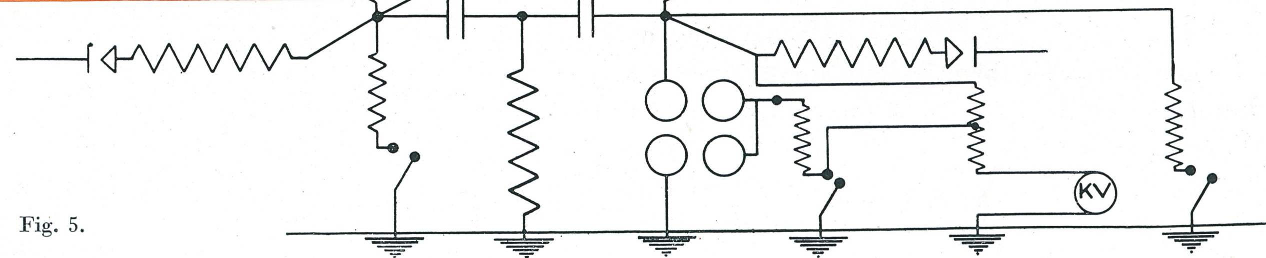
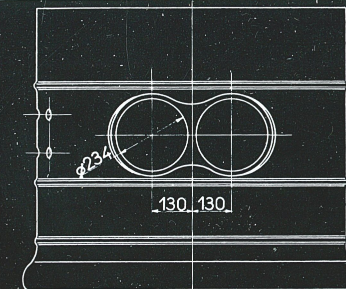


Fig. 5.

Le générateur fonctionne sur le principe bien connu consistant à charger des condensateurs en parallèle et à les décharger en série.

La figure 5 est un schéma de principe sur lequel on a porté quelques détails sur la composition des étages.



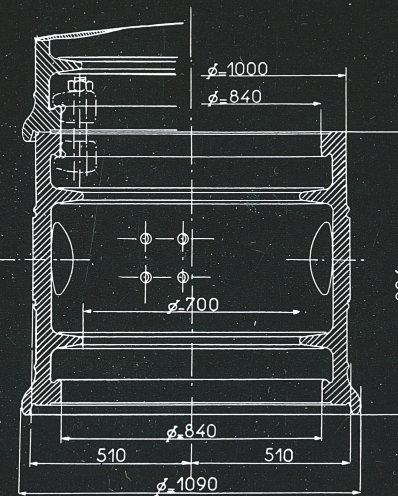


Fig. 6 – Éléments en porcelaine constituant le support de chaque étage. 16 éléments semblables empilés forment une tour de 15 mètres de hauteur environ.

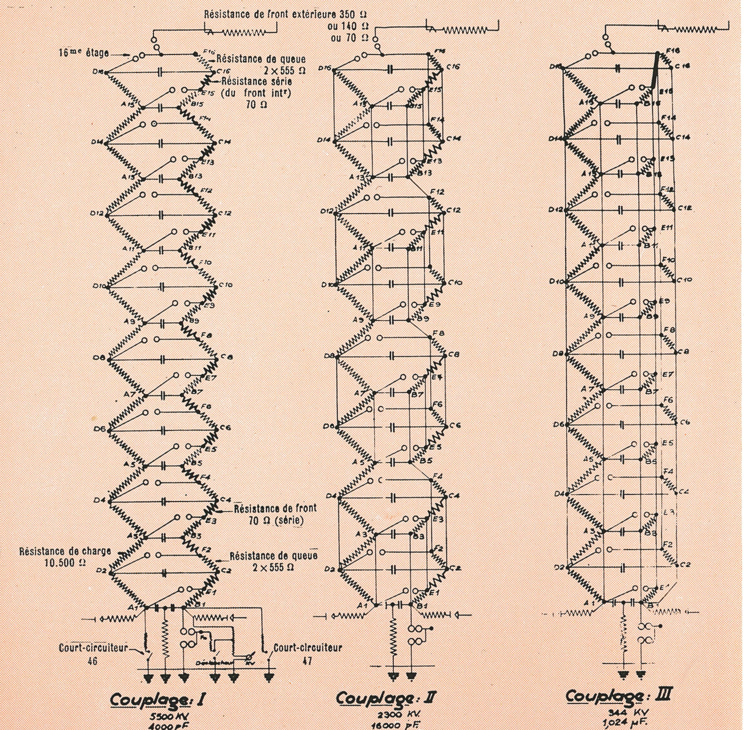


Fig. 7 – Les 3 couplages principaux des étages du générateur de choc.

La figure 7 donne les schémas de montage dans les 3 cas de couplage.

La réalisation du générateur mérite une mention particulière du fait que la porcelaine a été choisie comme support isolant de tout l'ensemble des éléments. Chaque étage est constitué d'un cerce en porcelaine de 1 m de diamètre et 0 m 90 de hauteur, traversé diamétralement par deux tubes de porcelaine contenant les éléments de condensateurs (fig. 6). Les 16 étages forment une sorte de tour en porcelaine de 15 m de hauteur et 1 m de diamètre, proportions que l'on peut qualifier d'audacieuses si l'on remarque qu'un poids dépassant 15 tonnes doit être parfaitement réparti sur une base céramique de surface restreinte (fig. 8).

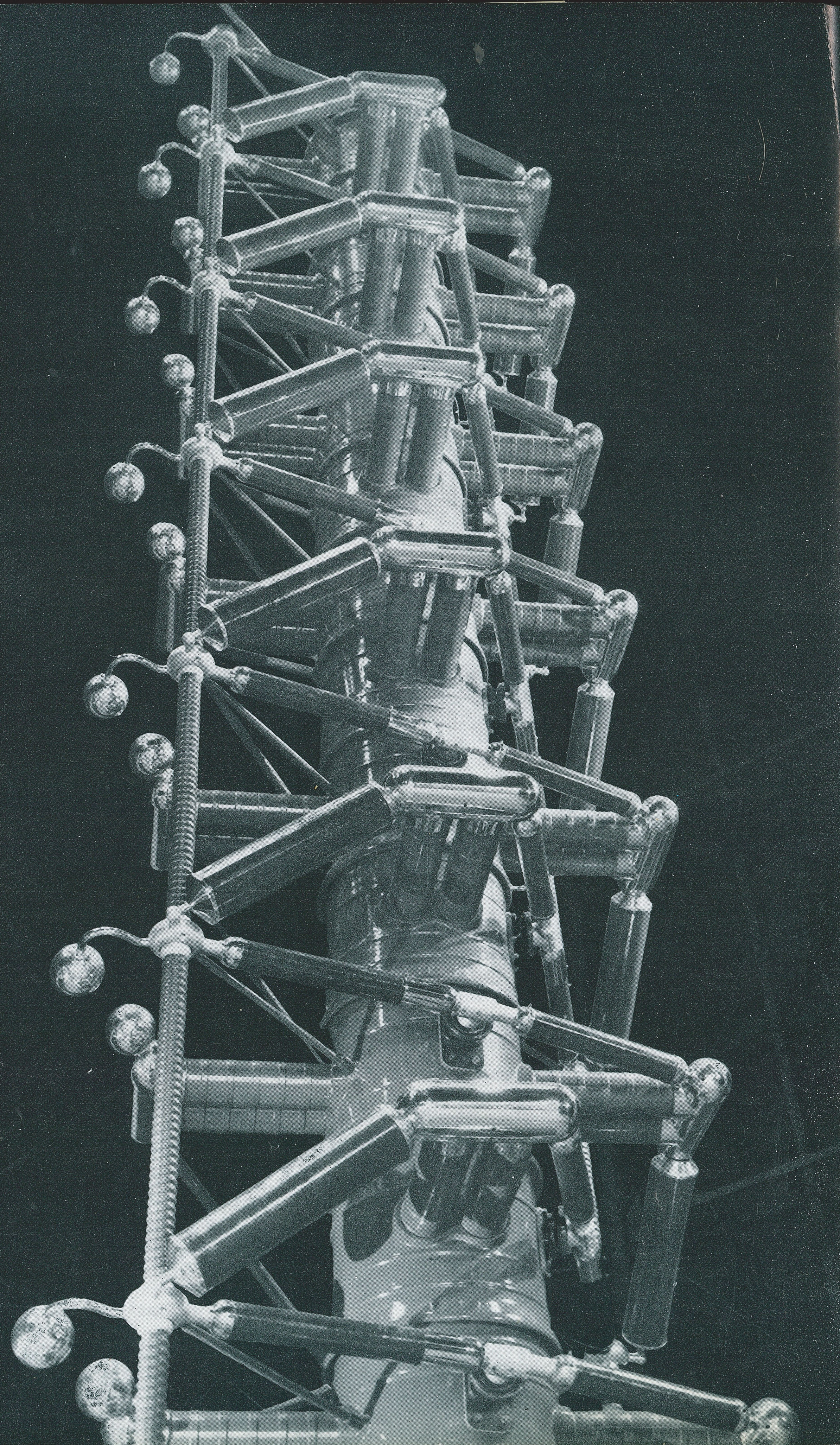


Fig. 8 - Vue du générateur de choc 5 500 kV, hauteur 14 m 960

LA MESURE DES TENSIONS

Parallèlement au générateur se trouve un potentiomètre capacitif de 200 pF (12 condensateurs de 2 400 pF en série). Les éléments capacitifs de ce potentiomètre sont logés dans une longue enveloppe tubulaire en porcelaine atteignant une hauteur de 13 m 80 et composée de 12 tubes de 23 cm de diamètre assemblés bout à bout et maintenus par un ensemble articulé de haubans en porcelaine.

Ce potentiomètre convient aux mesures des tensions de choc jusqu'à 5 000 000 de volts. Un potentiomètre ohmique de dimensions plus modestes est prévu pour le cas des ondes à front très raide. Sur la figure 9, on peut voir le potentiomètre capacitif à proximité du générateur.

Les potentiomètres permettent de mesurer les tensions de choc par enregistrement sur oscillographe. Deux oscillographes peuvent être mis en service : soit un oscillographe à tube scellé à 2 faisceaux, soit un oscillographe du type démontable à cathode froide. Ce dernier est plus particulièrement réservé à l'analyse et à la mesure des ondes à front très raide; pour cette raison, il est installé dans la fosse, sous le potentiomètre capacitif; son emplacement sous le tapis de terre le soustrait à toutes les perturbations électriques.

Pour les mesures courantes, on utilise l'oscillographe à tube scellé, monté dans une armoire mobile.

Enfin, la mesure directe des tensions peut être faite à l'aide d'un éclateur à sphères de 1 m de diamètre dont la sphère mobile est réglable par commande hydraulique à distance.

ALIMENTATION ET REDRESSEUR

Le générateur de choc est alimenté en tension redressée pouvant atteindre 344 000 volts. Ce redresseur est du type à deux aiguilles tournantes disposées sur un même arbre, décalées de 90° et entraînées par un moteur synchrone 1 500 t/m; les pointes de ces aiguilles en passant devant des électrodes sphériques laissent passer une intensité pouvant atteindre 30 mA, leur position de débit correspondant aux crêtes de la tension d'alimentation. Celle-ci est assurée par un transformateur 500/120 000 V branché sur circuit capacitif doublant la tension de chaque crête; cette alimentation est réglée par un autotransformateur placé dans le pupitre de commande.

PUPITRE DE COMMANDE

Toutes les commandes sont rassemblées dans une cabine à larges baies transparentes en plexiglas (fig. 11). L'un des pupitres commande le générateur de choc et reçoit la tension 220 V d'un transformateur d'isolement isolé pour 10 000 V.

Sur le schéma 10 apparaissent les principales connexions reliant le pupitre à l'ensemble de l'installation.

Un deuxième pupitre placé dans la même cabine commande le groupe alimentant les deux transformateurs provisoires destinés aux essais à fréquence industrielle.

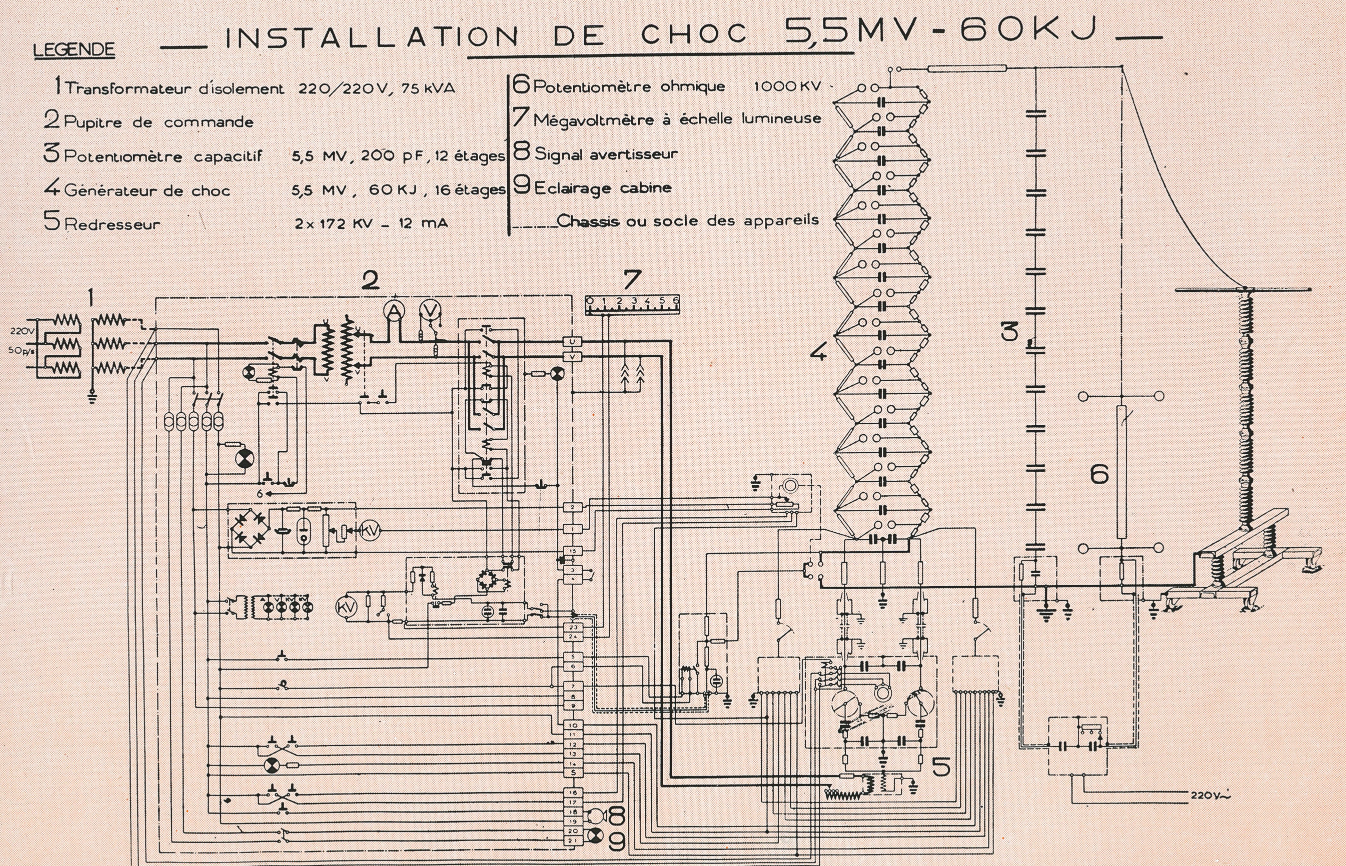


Fig. 10 – Schéma général de l'installation de choc.

Fig. 9 – Le générateur et le potentiomètre capacitif.

LE laboratoire a été conçu pour exécuter les essais qui intéressent directement nos fabrications. Le programme de recherches et de contrôles qui en découle est sans doute suffisamment important pour occuper pendant longtemps cette installation particulièrement adaptée à l'étude des isolateurs à très haute tension. Il ne nous échappe cependant pas que de pareils moyens d'essais pourront aider très utilement certains de nos clients, exploitants ou constructeurs, à trouver la solution de problèmes spéciaux touchant à l'isolation des équipements électriques envisagés d'un point de vue plus général; nous serions heureux, bien entendu dans la limite de nos possibilités, de leur apporter notre contribution.

Fig. 11 – Cabine et pupitre de commande.

